

---

**Hynek LAHUTA<sup>1</sup>, Eva HRUBEŠOVÁ<sup>2</sup>, Robert KOŘÍNEK<sup>3</sup>, Josef ALDORF<sup>4</sup>,**

**Lukáš ĎURIŠ<sup>5</sup>, Miroslav PINKA<sup>6</sup>**

**MODELOVÁ ANALÝZA VLIVU UKLÁDÁNÍ VEDLEJŠÍCH ENERGETICKÝCH ODPADŮ NA  
STABILITU VNITŘNÍ VÝSYPKY DOLU BÍLINA**

**MODEL ANALYSIS OF THE IMPACT OF COAL POWER PLANT WASTE STORAGE ON THE  
STABILITY OF INTERNAL DUMP BÍLINA**

**Abstrakt**

Ukládání vedlejších energetických produktů z uhelných elektráren představuje aktuální problém, který bylo potřeba řešit i v případě plánované výstavby nového energetického zdroje s výkonem 600 MW. V tomto konkrétním případě bylo zvoleno ukládání vedlejších energetických odpadů do vnitřní výsypky Dolu Bílina. Cílem příspěvku je s využitím metod matematického modelování ověřit stabilitu zmíněné výsypky, a to především s ohledem na případný negativní vliv zbytkové vody z technologického procesu ukládání vedlejších energetických produktů. Současný projektovaný dlouhodobý stav výsypky nepočítá se saturací vodou z dalších technologických procesů, která by podstatným způsobem mohla změnit vlastnosti a chování výsypkového tělesa.

**Klíčová slova**

Vedlejší energetické produkty, výsypka, zbytková voda, matematický model, stupeň stability.

**Abstract**

The coal power plant waste storage represents the current problem, which had to be solved in the case of the planned construction of a new power plant of 600 MW. In this particular case there is assumed waste storage into the internal dump Bílina. The main goal of this paper is to verify the stability of the mentioned dump, focused on the possible negative impact of residual water from the

---

<sup>1</sup> doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 946, e-mail: hynek.lahuta@vsb.cz.

<sup>2</sup> doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

<sup>3</sup> doc. Ing. Robert Kořínek, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 942, e-mail: robert.korinek@vsb.cz.

<sup>4</sup> Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 944, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz.

<sup>5</sup> Ing. Lukáš Ďuriš, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 948, e-mail: lukas.duris@vsb.cz.

<sup>6</sup> Ing. Miroslav Pinka, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 928, e-mail: miroslav.pinka.st@vsb.cz.

technological process of waste material storage. The current projected long-term condition does not dump the water saturation of other technological processes, which could substantially change the properties and behavior dump body.

### **Keywords**

Coal power plant waste, dump, residual water, mathematical model, stability factor.

## **1 ÚVOD**

Důl Bílina, ležící na hranicích okresů Most a Teplice, je jednou z těžebních lokalit společnosti Severočeské doly a.s. V blízkosti lomu se nachází města Bílina, Duchcov a Ledvice, dále pak vesnice Braňany a zaniklá vesnice Libkovice. Původní lom nesl jméno Velkodůl Maxim Gorkij. Otvírka byla provedena severozápadně od města Bílina. Lom postupně přetěžil důl Aloise Jiráska a pokračuje směrem k Mariánským Radčicím. Roku 2010 bylo rozhodnuto o ukládání vedlejších energetických produktů (dále VEP) z nového bloku elektrárny o výkonu 660 MW do prostoru vnitřní výsypky Bílina a bylo nutno vypracovat posouzení vlivu ukládání zahuštěné směsi VEP do prostoru této výsypky.

Cílem modelových analýz, jejichž výsledky jsou prezentovány v tomto příspěvku, bylo ověřit stabilitu vnitřní výsypky za předpokladu ukládání VEP hydraulickou dopravou a odpovědět na otázku, zda stabilita dílčích výsypkových etáží, příp. výsypka jako celek bude negativně ovlivněna zbytkovou vodou z technologických hydraulických ukládacích procesů.

## **2 KONCEPCE ŘEŠENÍ UKLÁDÁNÍ VEP DO VNITŘNÍ VÝSYPKY**

Při výstavbě nového energetického zdroje o výkonu 600 MW je nutné zajistit úložné prostory pro produkty po spalování uhlí po celou dobu jeho plánované životnosti. Předpokládané množství ukládaných VEP je stanoveno na objem 1 mil. m<sup>3</sup>/rok.

Pro ukládání VEP jsou v současnosti běžně používány dva způsoby dopravy VEP:

- varianta 1 – pásová doprava,
- varianta 2 – doprava hydraulická.

Varianta 1 řeší dopravu zvlhčené směsi hadicovým pásovým dopravníkem a jeho ukládání sypáním do předem připravených prostorů.

Varianta 2 předpokládá dopravu zahuštěné směsi stejnou technologií. Právě tento způsob byl zvolen u řešeního ukládání. Ukládaný stavební výrobek bude vyráběn v míchacím centru elektrárny, a to mísením vedlejších produktů spalování uhlí a odsíření spalin, tj. popílku, strusky a energosádrovce, se záměsovou vodou a ve formě zahuštěné suspenze bude dopravován potrubím do prostoru vnitřních výsypek [1, 2]. Za účelem stabilizace výrobku bude ke směsi popílku, strusky a energosádrovce přidáváno vápno v množství 2 % hmotnosti popílku a strusky, které má zajistit zatvrdnutí a zlepšení mechanických vlastností výrobku. Jako záměsová voda bude využívána směs technologických vod a odpadních vod z odsíření.

Způsob ukládání VEP předpokládá na stávajícím povrchu vnitřní výsypky vytvářet prostory o objemu cca 1 mil. m<sup>3</sup> (dále i kazety). Předpokládá se, že granulát se bude samovolně rozlévat v úložném prostoru a bude jej možno ukládat 24 hod. denně bez ohledu na klimatické podmínky. Dále se předpokládá, že vždy po třech dnech plavení, bude potrubní trasa jeden den proplachována a proplachová voda bude odvedena do samostatné nádrže.

## **3 CHARAKTERISTIKA A OBECNÉ VLASTNOSTI VÝSYPEK**

Nadložní sedimenty terciérních hnědouhelných slojí jsou tvořeny převážně jíly a jílovci. Ty lze stručně charakterizovat jako překonsolidované potrhané zeminy. Menší zastoupení mají písky, uhelné jíly (+jílovce) a písčité jíly (+jílovce). Jíly lze charakterizovat jako jíly vysoké až velmi vysoké plasticity (CV, CH), převážně konzistence pevné až tvrdé.

Vlastnosti výsypek jsou ovlivňovány technologickým postupem těžby, přepravy a ukládání horninového materiálu do výsypek. Kolesová rypadla těží hrudky objemu až  $1 \text{ m}^3$ , které se zmenšují drcením a dopravují pásovými dopravníky na výsypku. Hrudky zeminy se při přepravě nekontrolovaně zdobňují a zaoblují a přijímají vodu ze vzduchu a z atmosférických srážek. Výška dopadu hrudek ze zakladače na povrch výsypky se pohybuje od několika metrů až po cca 30 m.

Základní rozdíl v provedení výsypky od hutněného zemního tělesa spočívá v poměrně volném uložení. V tomto stadiu představuje výsypka zeminové těleso s dvojitou pórovitostí (pórovitost jednotlivých hrudek zeminy a pórovitost celého zeminového tělesa) [7, 13]. Volným pádem se sice jednotlivé hrudky částečně drtí a zhutňují, avšak dosažená objemová hmotnost se blíží hodnotám  $1500\text{--}1600 \text{ kg.m}^{-3}$  a mezerovitost dosahuje hodnot okolo 30 %. Vzniklé makropóry mezi hrudkami jsou natolik propojené, že vzduch je v kontinuální formě a tím propustnost sypaniny pro vzduch i vodu je vysoká.

Hrudky snadno přijímají vodu, neboť uvnitř pórů je podtlak vyvolaný odlehčením. Při sypaní výsypky vzniká nehomogenita zeminy pádem z různé výšky, pojezdem strojů, které urovnávají povrch každé etáže nebo i změnou sypané zeminy (např. písky mohou vytvořit infiltrační dráhu pro vnik povrchové vody do sypaniny).

Po uložení prodělávají jílovité hrudky změny, které jsou odvislé od možnosti sycení tělesa výsypky vodou a od rostoucí výšky sypaniny. Při zakládání sypaniny na suchou podložku je těleso výsypky tak propustné pro vzduch i vodu, že snadno přijímá jak vodu volně stékající do tělesa výsypky, např. vodu srážkovou, tak i vodu, která se může vysrážet ze vzduchu uvnitř výsypky. Oba procesy umožňují zvyšování vlhkosti jednotlivých hrudek, a to zejména po jejich obvodě. Tím dochází k poklesu tření v zónách vzájemného dotyku jednotlivých hrudek a následnému posunu. Současně dochází ke hnětení materiálu, které napomáhá ke zplastizování jílovité sypaniny a k poklesu pevnosti. Bude-li výsypka průvzdušná po celé své výšce, nelze vyloučit situaci, kdy voda volně vnikající do výsypky prosákne až k podložce výsypky, což v zásadě odpovídá ukládání sypaniny do mokré podložky. Dosavadní pozorování ukazují, že výsypky jsou průvzdušné do hloubky 30–50 m.

Nastane-li situace, kdy vzduch je postupně uzavřen mezi jednotlivými zrny, potom se chování výsypky mění. Tento případ může nastat jak pro nezvlhčené hrudky vlivem vysokého tlaku, tak i při nižším tlaku v důsledku zvýšené vlhkosti. Tím současně klesá propustnost výsypky jako celku a její sycení vodou je omezené, nicméně již v tělese výsypky existují oblasti prakticky plně nasycené zeminy [6,10].

Další zvyšování výsypky na vrstvu prosycenou vodou vyvolá vzrůst normálových napětí a současně vzroste i tlak vody v pórech. Přírůstek pórového tlaku bude prakticky odpovídat normálovému přitížení. Smyková pevnost proto neporooste a bude nízká.

Při některých provedených vrtných pracích byly zastiženy lokální oblasti s nízkou pevností uložených zemin a byla pozorována i řada zvodnělých obzorů se vztlakovou vodou. To znamená, že muselo dojít k lokálnímu prosycení sypaniny vodou, nejpravděpodobněji vodou z povrchu (např. srážkovou) pomocí infiltračních drah. Infiltrační dráhy mohou představovat propustné písčité vrstvy nebo kumulace písčitých materiálů ve výsypce. Na infiltraci mohou mít nepříznivý vliv lokální sesuvy při sypaní výsypky.

Charakter sypaniny se může měnit i v důsledku dlouhodobého prohořívání uhelných jílu a jílovců uložených do tělesa výsypky. Prohoříváním zmenšují svůj objem a vypalují okolní jíly, které smršťováním zmenšují rovněž svůj objem a zvyšují propustnost.

## **4 NEGATIVNÍ VLIVY PRO STABILITU VÝSYPKY VYPLÝVAJÍCÍ**

### **Z UKLÁDÁNÍ VEP HYDRAULICKOU CESTOU**

Oborné podklady [3, 4] se shodují v tom, že negativní vliv na stabilitu výsypky úzce souvisí s procesem ukládání VEP. Jedná se tedy především o ovlivnění hydrogeologických poměrů ve

výsypce, což opět závisí na charakteru materiálu výsypky, její propustnosti a možnosti vzniku rozsáhlejších zvodnělých horizontů ve vlastní výsypce.

Podle [3] je do výsypkového tělesa zakládána zemní směsice s převážující jílovitou složkou a do budoucna lze předpokládat postupné snižování podílu písčité frakce. Písky tvoří lokálně rozsáhlé relativně propustné partie charakterizované součinitelem filtrace ( $k_f$  řádu  $10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup>). VEP a výsypka jsou jako celek nepropustné ( $k_f$  řádu  $10^{-7}$  až  $10^{-8}$  m.s<sup>-1</sup>). Současně předpokládá, že veškerá záměsová voda se účastní chemických reakcí při procesu tvrdnutí VEP a nadbytečná voda bude tvořit jen zlomek (1-1,4 %) celkového množství vody, jež spadne dešťovými srážkami na výsypku.

Podle [4] je výsypka tvořena zeminami, které lze zařadit do tříd S3/SF – S5/SC (podle ČSN 73 1001) s filtračním součinitelem ( $k_f$  řádu  $10^{-4}$  až  $10^{-7}$  m.s<sup>-1</sup>) v závislosti na zrnitosti a ulehlosti. Podle výsledků dynamických penetračních zkoušek dále vyplývá, že výsypka není ve vertikálním směru homogenní těleso, ale obsahuje partie s výrazně odlišným dynamickým odporem na hrotu penetrometru  $q_d$  (MPa). Množství zbytkové vody z hydratace VEP, není v [4] uvedeno.

Velmi důležitým faktem, který však z prostudovaných odborných podkladů nevyplývá, je otázka, kolik nadbytečné vody z ukládání VEP plavením může saturovat těleso výsypky. Podle aktuálních informací ČEZ žádná nadbytečná voda z procesu hydratace VEP, nebude a proplachová voda bude vedena v uzavřeném okruhu. Výsledky, které uvádí ČEZ [4] byly získány při zkouškách rozplavitelnosti a hydratace VEP v laboratorních podmínkách. Při skutečném provozu úložiště a za měnících se klimatických podmínek v průběhu roku není průkazně doložena nemožnost sycení výsypky zbytkovou nebo přebytkovou vodou z procesu hydratace. Navíc je nutno reálně počítat s tím, že výsypka je již dlouhodobě sycena vodou srážkovou a v tělese výsypky mohou existovat polohy částečně nasycených zemin.

## 5 TVORBA BÁŇSKÉHO A GEOTECHNICKÉHO MODELU

Prostory určené pro zakládání certifikovaných VEP se nacházejí v jihovýchodní části vnitřní výsypky lomu Bílina, v prostoru mezi jižními svahy prvotní dovrchní etáže výsypky a severními uhelnými odtahovými dopravníky. Zakládání samotné výsypky je prováděno po vrstvách, které jsou upravovány a částečně hutněny pojezdem pomocné mechanizace.

Zakládání VEP podle [5] bude zahájeno v roce 2012 v úložném prostoru kazety č. 1 (1. část úložiště). Kazeta č. 1 má zhruba obdélníkový půdorys o rozměrech cca 1200 x 130 m, protažený ve směru sever-jih. V současné době je ve vnitřní výsypce v prostoru kazety č. 1 ponechána jáma o hloubce cca 16-28 m, dno kazety klesá směrem k severu (obr. 1).

Předpokládané množství uložených VEP do kazety č. 1:

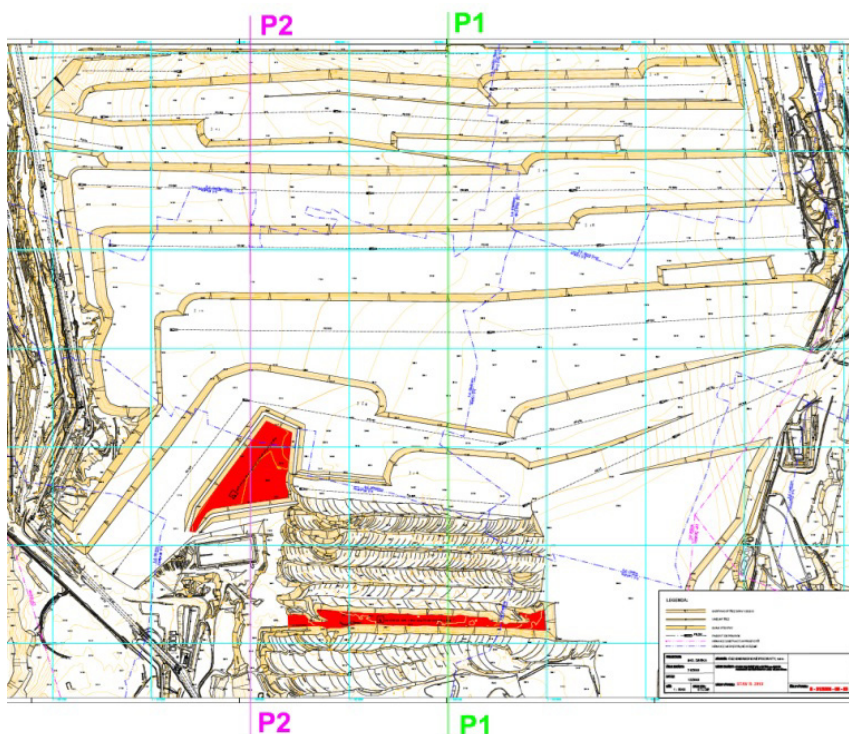
2012 .....	1,0 mil. m <sup>3</sup>
2013 .....	0,5 mil. m <sup>3</sup>

Tím bude kapacita kazety č. 1 vyčerpána a bude zahájeno ukládání do kazety č. 2 (obr. 1).

Kazeta č. 2 má půdorys nepravidelného mnohoúhelníku s předpokládanou úložní kapacitou 1,7 mil. m<sup>3</sup>.

Předpokládané množství uložených VEP do kazety č. 2:

2013 .....	0,5 mil. m <sup>3</sup>
2014 .....	1,0 mil. m <sup>3</sup>
2015 .....	0,2 mil. m <sup>3</sup>



Obr. 1: Schéma umístění jednotlivých kazet a vedení řezu

V příspěvku jsou dále uvedeny výsledky řešení stability vnitřní výsypky Dolů Bílina v řezech P1 a P2 (obr. 1), které jsou vedeny oblastmi předpokládaného vybudování úložných VEP kazet.

Materiálové vlastnosti ( $\gamma$ -objemová tíha,  $k_f$ -koeficient filtrace,  $E$ -modul pružnosti,  $\nu$ =Poissonovo číslo,  $c$ -soudržnost,  $\phi$ -úhel vnitřního tření) jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. 1: Použité materiálové charakteristiky horninového prostředí

<b>Mohr-Coulomb</b>		<b>1</b> <b>Vulkanogenní horniny</b>	<b>2</b> <b>Podložka</b>	<b>3</b> <b>VEP</b>	<b>4</b> <b>Výsypka</b>
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,50	20,00	15,00	16,50
$k$	[m/day]	0,001	0,009	0,002	8,640
$E$	[kN/m <sup>2</sup> ]	150000,000	15000,000	200000,000	4000,000
$\nu$	[-]	0,300	0,380	0,200	0,430
$c$	[kN/m <sup>2</sup> ]	70,00	100,00	58,50	35,00
$\phi$	[°]	25,00	22,00	55,00	29,00
<b>Mohr-Coulomb</b>		<b>5</b> <b>Uhlí</b>	<b>6</b> <b>Křída</b>	<b>7</b> <b>Rula</b>	<b>8</b> <b>Původní nadloží</b>
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	11,00	20,00	20,00	17,00
$k$	[m/day]	8,640	0,001	0,000	0,086
$E$	[kN/m <sup>2</sup> ]	50000,000	150000,000	3000000,000	5000,000
$\nu$	[-]	0,300	0,300	0,250	0,350
$c$	[kN/m <sup>2</sup> ]	35,00	70,00	300,00	20,00
$\phi$	[°]	25,00	25,00	40,00	15,00

## 6 CHARAKTERISTIKA SOFTWARE PLAXIS 2D A DOPLŇKOVÉHO MODULU PLAXFLOW

K modelování problematiky spojené s filtrací zbytkové vody z instalovaných VEP byl využit speciální modul programového systému Plaxis – modul PlaxFlow [8, 9]. Tento výpočetní modul, speciálně vyvinutý firmou Plaxis pro modelování úloh řešících proudění podzemní vody, má implementován interface pro spolupráci se základním výpočetním modulem Plaxis 2D a toto propojení pak umožňuje zohledňovat proudění vody při vyhodnocování stupně stability.

Pro modelování vlivu infiltrace zbytkové vody z VEP byl využit v rámci softwaru PLAXFLOW materiálový model pro nesaturované zeminy. Tento model je založen na tzv. Van Genuchtenových materiálových charakteristikách zemin. Pro stanovení těchto charakteristik nesaturovaných zemin byla využita možnost přiřazení těchto materiálových charakteristik na základě zatřídění zemin dle trojúhelníkového diagramu (součást softwaru PLAXFLOW).

Infiltrace vody do nesaturované zóny byla modelována za předpokladu tzv. podmíněného přítoku. Tento podmíněný přítok znamená, že k infiltraci do nenasycené oblasti dochází pouze za určitých podmínek, které odpovídají absorpční kapacitě zeminového prostředí. Pokud je tato kapacita překročena, dochází k zastavení infiltrace po dobu, která je potřebná pro snížení hladiny vody v pórech (v modelu je implementována po tuto dobu nepropustná hranice). Po dosažení potřebného snížení hladiny vody v pórech je opět infiltrační proces aktivován (hranice, přes kterou probíhá infiltrace, je opět nastavena jako propustná). Pokud k infiltraci dochází přes hranici, která není horizontální, je množství infiltrované vody rozloženo na složku kolmou k dané infiltrační hranici a složku paralelní s touto hranicí.

Konkrétně v realizovaném modelu bylo uvažováno množství vody, která může infiltrovat do výsyvky, 200 mm/den. Při modelování byl přitom respektován režim ukládání VEP do výsyvky - 3 dny je čerpána hmota, pak vždy následuje 1 den proplach potrubí vodou (proplachová voda je přitom odváděna a nepředpokládá se její filtrace do výsyvky) a tento proces se opakuje až do zaplnění celého objemu kazety. Přitom se dle dodaných podkladů předpokládá, že první vrstva VEP po zatvrdnutí, vytvoří nepropustné dno kazety, do níž se hmota ukládá a v dalších fázích ukládání již nemůže tedy docházet k filtraci přes dno kazety, pouze přes boční stěny popř. jejich část. Tyto skutečnosti se snaží dle softwarových možností výpočetní model respektovat. Po prvních třech dnech infiltrace se okrajová podmínka na dně kazety mění z propustné na nepropustnou, propustné okrajové podmínky jsou dále v modelu uvažovány pouze na bočních stěnách kazety. Celkem jsou v každém modelovaném profilu uvažovány 4 cykly plnění kazety (15 dní).

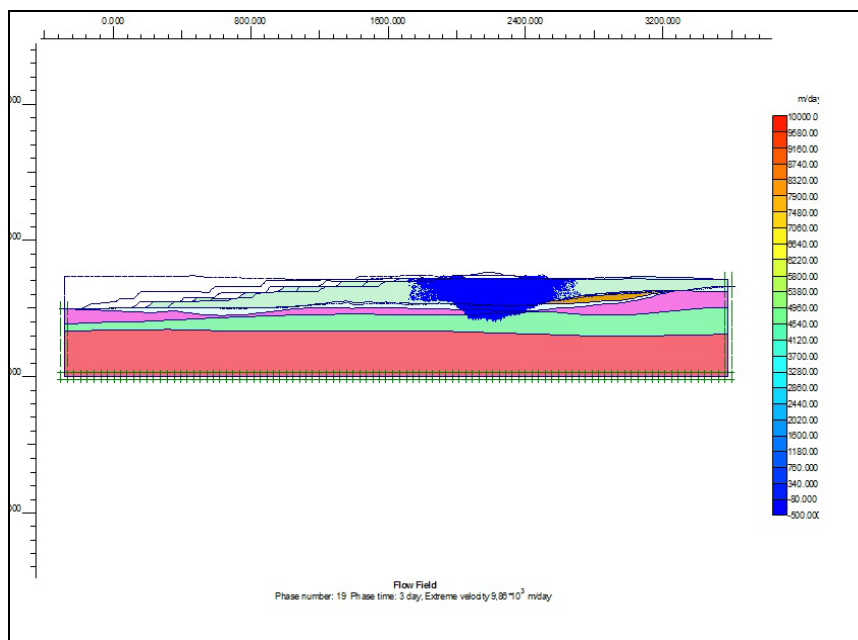
## 7 KOMENTÁŘ VÝSLEDKŮ MATEMATICKÝCH MODELŮ

Dále uvedené komentáře vycházejí z výsledků řešení matematického modelování chování a projevů vysokých vnitřních výsypek Dolů Bílina, do kterých budou ukládány vedlejší energetické produkty v tekuté formě, s předpokladem jejich zatuhnutí a s předpokladem spotřeby veškeré záměšové vody na hydrataci a zatuhnutí směsi. Tento předpoklad ověřený pouze v laboratorních podmínkách, nemusí být beze zbytku splněn při ukládání VEP v měnících se klimatických podmínkách v průběhu roku, neboť VEP, budou ukládány nepřetržitě a názory a zkušenosti geotechniků SD, a.s. s chováním konsolidujících výsypek, které ovlivňuje zasahující a proudící voda, nelze pominout.

Při modelování vlivu podzemní vody na stabilitu výsyvky v řezech P1 a P2, které procházejí kazetou č. 1, resp. kazetou č. 2, jsou kritické smykové plochy [11] lokalizovány pouze ve svazích dílčích etází a stupně stability smykových ploch jsou  $F > 1.5$ , což vyhovuje požadavkům Vyhlášky č. 26/1989 Sb. pro svahy trvalé. Důvodem může být skutečnost, že kazety č. 1 a 2 jsou budovány na starší části výsyvky, kde již proběhla podstatná část primární konsolidace a které jsou současně nejvíce vzdáleny od volných čelních a bočních svahů. Další kazety budou budovány v prostorech blíže svahům celého výsypkového tělesa a na méně konsolidovaném výsypkovém tělese.

Řešení ukazuje vznik oblastí nasycených zemin v podloží kazet, které vznikly vsakem zbytkové vody (kromě srážek, obr. 2). Oblasti vodou nasycených zemin se tvoří pod celým tělesem

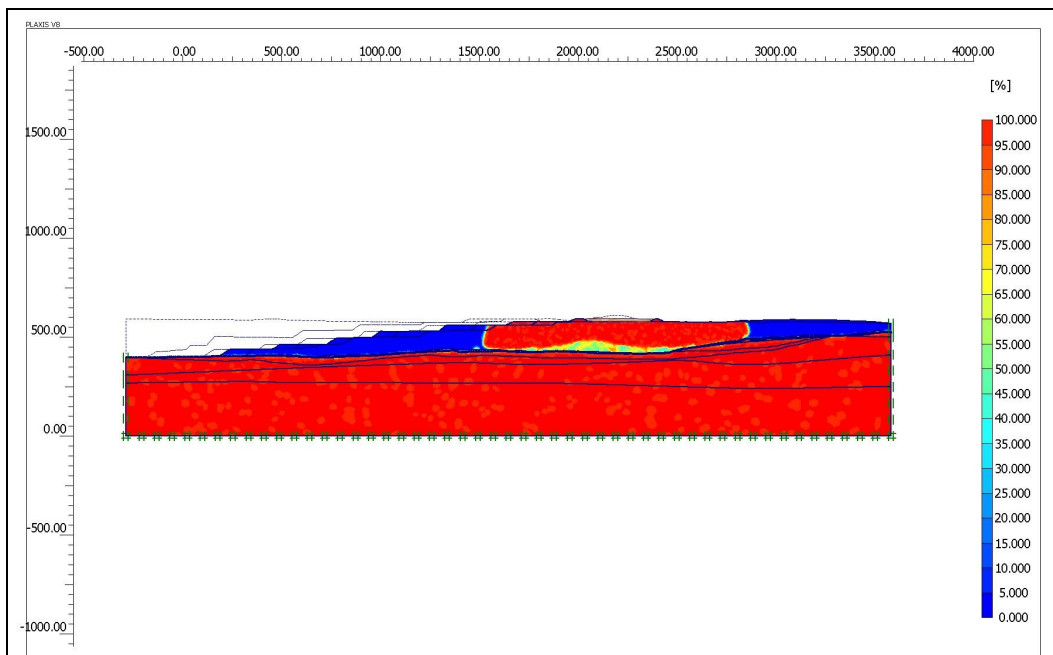
ukládání VEP. Zde je nutno uvést, že matematický model sledoval vývoj oblasti nasycených zemín v podloží kazety pouze pro 4 plavící cykly (1 cyklus = 3 dny plavení VEP + 1 den proplachování = 4 dny). Ve skutečnosti bude plavení a ukládání VEP probíhat kontinuálně (ročně cca 90 cyklů) a nebude-li splněn předpoklad nulového zbytku záměsové vody, pak oblast zvodnělých zemín pod kazetami může zasáhnout podložku a vytvořit příznivé podmínky pro zplastizování a ztekucení písčitojilovitých zemín výsypky a snížení jejich pevnosti s následkem projevů nestability. Navíc je nutno vzít v úvahu i skutečnost, že v tělese výsypky, které je díky náhodnému sypání zemín heterogenní ve vodorovném i svislém směru, existují lokální izolované zvodně, bez dodatečného sycení výsypky vodou.



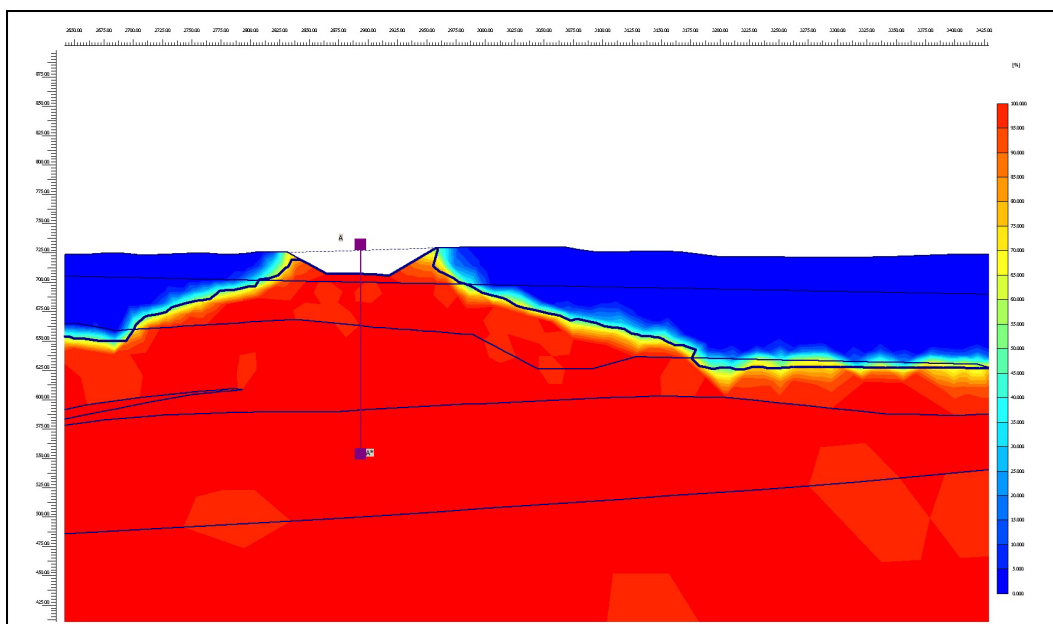
Obr. 2: Profil č. 2 -proudění zbytkové vody do tělesa výsypky po infiltraci vody z VEP (první 3 dny)

U kazet, které budou budovány blíže čelním i bočním svahům výsypky, budou deformační parametry v přípovrchové zóně nižší než jaké byly použity v modelu. Modul deformace v modelu byl podle zadavatele použit v hodnotě 4 MPa. Na málo konsolidované výsypce je možno uvažovat s modulem deformace  $E_{\text{def}} = 2 \text{ MPa}$ , s vyšší mezerovitostí a s vyšší propustností výsypky ve svislém směru do tělesa výsypky. To může způsobit nežádoucí projevy v chování uložených a zatuhlých VEP (porušení uložených a zatuhlých VEP).

Prezentované výsledky modelových výpočtů je třeba posuzovat vzhledem k doposud neúplnému stupni znalosti vlastností a parametrů materiálu výsypky a složité problematice nenasycených zemín výsypek povrchových uhelných. Zvýšení vypovídací schopnosti výsledků modelování předpokládá další výzkum v této oblasti.

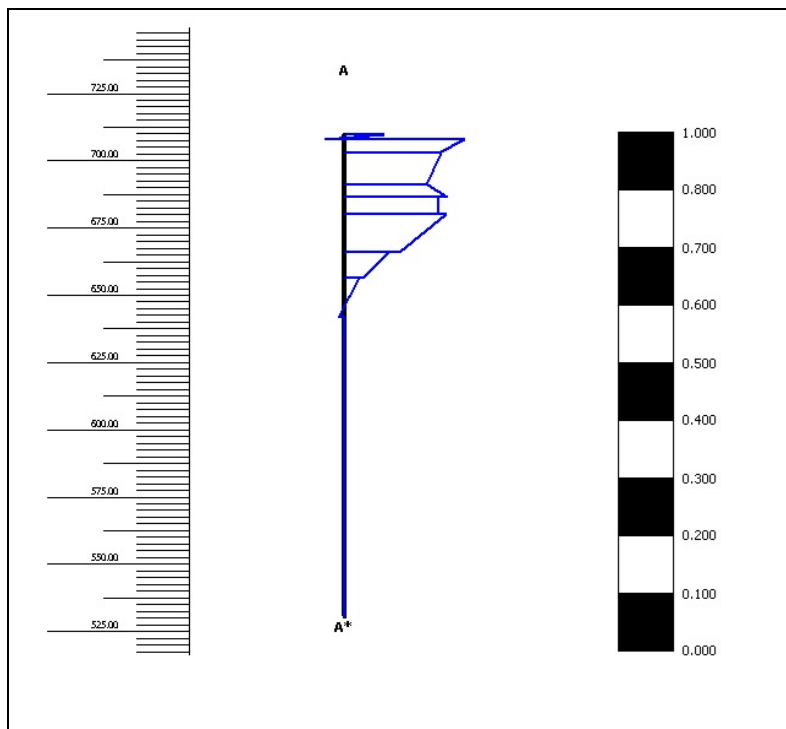


Obr. 3: Profil č. 2 - stupeň saturace po infiltraci vody z VEP



Obr. 4: Profil č. 1 - stupeň saturace po infiltraci vody z VEP (detail)





Obr. 5: Rychlost proudění vody (m/den) ve svislém řezu A procházejícím kazetou v profilu č. 1

## 9 ZÁVĚR

Stabilita vnitřní výsypky, zvláště té, která je budována na podložce ukloněné k uhelné sloji, je pro provoz uhelného lomu životně důležitá, neboť deformační projevy v dílčích etážích výsypky a zejména v celém tělese výsypky mohou ohrozit provoz lomu. Vzhledem k výše uvedeným závěrům je zřejmé, že se nejedná o krátkodobý problém, ale řešení ukládání VEP bude vyžadovat dlouhodobé sledování samotné technologie ukládání a provozování geotechnického monitoringu pro exaktní posouzení vlivů ukládání VEP na stabilitu výsypkového tělesa [12].

Z výsledků provedených výzkumných činností plynou následující doporučení:

- zpřesnit údaje o popisných, fyzikálních a mechanických vlastnostech zeminových materiálů tvořících těleso výsypky,
- ukládání VEP do kazety č. 1 považovat za provozní pokus, který vyžaduje splnění těchto podmínek: kazetu č. 1 rozdělit systémem příčných hrázek na dílčí kazety; dílčí kazety plošně utěsnit zatím nespécifikovaným těsněním a sledovat, zda je splněn předpoklad nulového zbytku záměsové vody; sledovat úspěšnost aplikace těsnících prvků,
- prostorově monitorovat okolí a podložku kazety pro získání informací o chování výsypky v průběhu ukládání VEP a následně i po zaplnění kazety,
- zpřesněné údaje a informace o interakci zatuhnutých VEP a vlastní výsypky využít pro aplikaci matematických výpočtových modelů, jejichž vstupní parametry a algoritmy výpočtů bude nutné dlouhodobě zpřesňovat a doplňovat.

## PODĚKOVÁNÍ

„Práce byly podporovány z prostředků koncepčního rozvoje vědy, výzkumu a inovací pro rok 2012 přidělených VŠB-TU Ostrava Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky,“ (téma projektu Výzkum materiálových vlastností výsypkových těles).

## LITERATURA

- [1] EG7HK. *Aditivovaný granulát lité do výsypek povrchových dolů SD-DB*. Hradec Králové, 2006.
- [2] TZÚS. *Stavební technické osvědčení na výrobek: granulát a aditivovaný granulát do výsypek povrchových dolů*. Praha, 2006.
- [3] BÁŇSKÉ PROJEKTY. *Studie ukládání VEP do vnitřních výsypek Dolu Bílina ve variantě aditivovaného granulátu*. Teplice, 2007.
- [4] KODER. *Studie ukládání VEP z NZ ČEZ, a.s., ELE do prostorů vnitřní výsypky lomu Bílina SD, a.s.* Teplice, 2008.
- [5] GEOTEC. *Úložiště VEP – orientační geotechnický průzkum*. Praha, 2010.
- [6] ŠIMEK, J. a kol.: *Mechanika zemin*. SNTL, Praha 1990.
- [7] VANÍČEK, I., SCHROFEL, J.: *Životní prostředí – Inženýrské stavby*. ČVUT Praha, 2000.
- [8] BRINKGREVE at all: *Manual PLAXIS 8.2*. A. A. Balkema Publishers, 2004.
- [9] BRINKGREVE at all: *Manual PlaxFlow*. A. A. Balkema Publishers, 2003.
- [10] CODUTO, D.P: *Geotechnical Engineering.Principle and Practice*. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- [11] CHENG, Y.M., LANSIVAARA, T., WEI, W.B. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, *Computers and Geotechnics*, Volume 34, Issue 3, May 2007, Pages 137-150, ISSN 0266-352X.
- [12] MARSCHALKO, M., HOFRICHTEROVA, L. LAHUTA H. *Utilization of geophysical method of multielectrode resistivity measurements on a slope deformation in the mining district. SGEM 2008: 8<sup>TH</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE, VOL I, CONFERENCE PROCEEDINGS: MODERN MANAGEMENT OF MINE PRODUCING GEOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION*. 2008, p. 315-324. ISBN 978-954-91818-1-4.
- [13] VANICEK, I., CHAMRA, P. Influence of extreme rainfall on the stability of spoil heaps. In: *10th International Symposium on Landslides and Engineered Slopes*. Xian, PEOPLES R CHINA, 2008.

### Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Milan Větrovský, Ph.D., Severočeské doly a.s., Chomutov.

Doc. Ing. Marián Drusa PhD., Katedra geotechniky, Stavební fakulta, ŽU v Žiline.